

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 21 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700494

研究課題名(和文)CT像からの高精度腸管抽出に基づくクローン病診断支援システムの開発

研究課題名(英文)Development of Crohn's disease diagnosis system based on highly accurate intestine extraction from CT images

研究代表者

小田 昌宏(Oda, Masahiro)

名古屋大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：30554810

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：CT像から複雑な大腸及び小腸の形状を認識し、クローン病によって発生した潰瘍などを自動検出する手法を開発した。腸の形状を仮想化内視鏡像、断面像などで選択的に可視化した。また、複雑な管腔臓器である腸の表示に適した仮想展開像を可視化に用いて、腸の形状をシステム利用者が容易に把握可能とした。これらの機能を実装したクローン病支援診断システムを開発し、従来のクローン病診断における患者及び医師の負担を軽減する新たな診断手法の一つを切り開いた。本システムの医師による評価を行い、診断に有用であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：I have developed a method for extracting complicated large and small intestines and a method for automatically detect ulcers caused by Crohn's disease. The shapes of the intestines are selectively visualized by using virtual endoscopic views and cross sectional images. Also, virtual unfolded views are introduced to display complicated shapes of the intestines. Users of the system can easily understand the shape of the intestines by using these views. I have developed a Crohn's disease computer aided diagnosis system which equips the above functions. Diagnosis using the system is one of the new diagnostic method of Crohn's disease which can reduce load on patients and medical doctors. The system was evaluated by medical doctors and confirmed effectiveness for diagnosis.

研究分野：医用画像処理

キーワード：医用画像処理 診断支援システム 画像認識 画像情報処理 病変検出

1. 研究開始当初の背景

クローン病は消化管に発生する疾患であり、潰瘍や狭窄などが症状として表れる。クローン病は主に小腸と大腸に発生する。症状が重い場合は外科的に治療が必要であり、そのために病変部の状態と位置を把握する必要がある。従来から小腸と大腸を含む腸管の観察には内視鏡検査が用いられているが、内視鏡を肛門及び口から挿入するため診断に時間を要し、患者の負担が大きい。さらに、腸管の狭窄が存在する場合に内視鏡がこれを通ることができず、観察できない領域が発生する。

従来の診断法に代わる新たな診断法として、CT像を用いたクローン病診断法が登場している。この診断法では患者のCT像を用いて腸管の観察を行うため、内視鏡挿入による患者への負担がない。また、狭窄の有無に関係なく腸管全体を観察できる。このようにCT像を用いた診断法は従来にない利点を持つ。これまでにCT像を用いたクローン病診断手法が報告されているが、その多くは2次元のCTスライス像を観察するものである。医師は2次元画像から3次元的な腸管の形状を想像しながら診断を行うこととなるが、腸管は非常に複雑な形状を持ち、2次元画像からの3次元形状把握は困難である。また、クローン病により生じる潰瘍などの症状は様々な形となって表れるため、クローン病によって生じた病変の位置を把握することは難しい。

これらの点から、クローン病診断を行う上で複雑な腸管の形状を正確に認識し、その上に生じている病変位置を正確に把握する必要があることが分かった。また、複雑な腸管の形状を分かりやすく医師に提示する必要がある。クローン病診断における医師の負担を軽減するため、腸管の形状を正確に認識する、腸管形状を分かりやすく可視化する、潰瘍などを高精度に検出するクローン病計算機支援診断(CAD)システムの開発が必要であるとの考えに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、CT像に基づく小腸と大腸のクローン病CADシステム開発である。複雑な形状である腸管をCT像から認識する手法を開発する。この結果を利用して、システムの利用者が理解しやすい形で腸管や病変の可視化を行う。腸管内に存在する潰瘍などの病変自動検出も行う。診断結果を医師及び患者にとって容易に参照可能な診断結果情報出力機能を実現し、システムに実装する。本システムにより臨床現場でのクローン病診断の効率化を図る。クローン病診断支援に特化したシステムは他に提案されておらず、本システムを用いた新たな診断手法は患者と医師の負担軽減や診断時間短縮に結び付き、従来の診断法に置き換わるものと考えられる。

3. 研究の方法

クローン病CADシステムの開発を最終的な目標とする。そのため、腸管の認識手法を開発し、CT像上の腸管形状を認識する。また、潰瘍などを自動検出する手法を開発した。これらにより得られた腸管の形状や病変位置を可視化する手法を開発した。そして上記手法を実装したクローン病CADシステムを作成した。診断結果はコンピュータ上で参照するだけでなく、タブレット端末などでも参照可能とした。

本研究を進めるうえでCT像を多数実験に用いた。研究開始前に名古屋大学大学院医学系研究科で撮影し匿名化済みのCT像データベースを実験に用い、迅速に研究立ち上げを行った。

本研究を遂行する上で医学系研究者との協力体制が不可欠である。名古屋大学大学院医学系研究科の研究者と協力し、CT像の撮影、開発した手法とシステムの評価を行った。

4. 研究成果

(1) 腸管認識手法の開発

① 腸管抽出手法の開発

CT像から小腸と大腸を含む腸管を自動抽出する手法を開発した。ここでは腸管の空気領域と、便などの残渣領域の位置関係とCT値に基づき腸管全体を抽出した。

具体的には、腹部の体積の大きい空気領域を腸管として自動抽出する。この空気領域の近くかつ背中側に存在するCT値の高い領域を残渣領域として自動的に抽出する。CT像上で残渣は造影剤により高CT値領域として観察される。パーシャルボリューム効果を考慮して残渣領域の境界をわずかに拡張し、残渣領域のCT値を空気領域のCT値で置き換えることでCT像上の残渣を削除する。これにより得られた残渣を削除したCT像から空気領域を抽出し、これを腸管領域とする。

本手法を実際のCT像に適用したところ、多くの症例で腸管領域が正しく得られた。造影剤の含有量が少ない一部の残渣を削除できなかったが、多くの場合は残渣領域の削除が正常に行われた。

② 腸管の構造再構築手法の開発

腸管抽出手法で得られる腸管領域は腸管全体で1つの連結した領域として得られることは少なく、多くの場合複数の領域に分割されていた。これは腸管の屈曲部分で空気領域が分割されている場合や残渣が多く存在する場合に生じる。これら分割されて得られた腸管領域を、実際の腸管の走行状態と同じ順序で接続する手法の開発を行った。本手法により、クローン病CADシステムにおいて腸管内の観察を腸管の走行に沿って行うことが可能となる。

腸管の構造再構築のため、まず腸管領域を細線化し、偽枝の除去などを行う。これにより腸管領域が線分の集合として表される。線

分間の接続関係を評価し、正しいもの1つを選択することで腸管の正しい接続状態を得て、それに基づき腸管の構造再構築が可能となる。線分間の接続関係を評価する関数を提案し、評価関数を最小化する接続関係を算出した。この評価関数には、線分間の距離、線分の末端同士の方法の関係から算出される値を項として組み込んだ。とりうる全ての接続関係の中で評価関数を最小化するものを求め、最適な腸管の接続関係として出力する。

CT像4例を用いて評価を行ったところ、1例あたり分割された腸管領域が8個含まれており、本手法はその中で平均6.5個の腸管領域を正しく再構築することができた。

(2) 選択的可視化手法の開発

複雑な形状を持つ腸管を容易に理解可能な形で医師に提示する。CT像に写った全てのものを可視化すると腸管の観察が困難となるため、CT像上の空気と体組織の接触部分のみを選択的に可視化することとした。これにより皮膚と腸管が主に可視化され、体内における腸管の形状・位置把握が容易となった。この可視化手法は高速に画像を描画可能であり、医師の操作に応じて任意の視点位置から観察した画像を生成可能である。

(3) 病変自動検出手法の開発

クローン病によって発生する潰瘍を検出する手法を開発した。潰瘍の発生した個所では、腸管内壁に多くの凹凸が生じる。これを局所濃淡構造解析を用いて検出した。

まずCT像から腸管領域を求める。腸管領域から腸壁付近の領域を算出し、ここで潰瘍検出を行う。潰瘍の候補領域検出にはヘッセ行列の固有値を用いた塊状構造強調フィルタを用いた。CT像の局所領域を近似した多項式の微分値からヘッセ行列を算出する。ヘッセ行列の固有値はCT像の濃淡構造の特徴を表しており、固有値の値から塊状構造を持つ領域を特定可能である。腸壁付近で塊状構造を検出し、この塊状構造を持つ領域の密集度合をRoughness valueにより評価した。Roughness valueは塊状構造が局所的に多く存在するほど高い値となる。Roughness valueにより潰瘍候補領域を得た後、過検出の削減を行う。潰瘍においては腸管が狭窄し、腸壁が

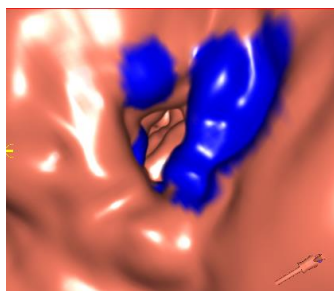


図1 病変自動検出手法により検出された潰瘍の例を青色で示す。

肥厚することに着目し、腸管の太さと腸壁の厚みを特徴量とした過検出削減を行った。

本手法をCT像10例に適用し潰瘍検出性能の評価を行ったところ、検出率82.4%、過検出は1例あたり13.7個となった。過検出の数を少なく抑えながら高い検出率を実現した。図1に検出された潰瘍の例を示す。

(4) クローン病CADシステムの開発

腸管認識手法、選択的可視化手法、病変自動検出手法を持ち、クローン病診断を支援するシステムの開発を行った。可視化手法は腸管外形を3次元的に可視化でき、腸内は仮想化内視鏡、仮想展開像、断面像により表示する。腸管の形状を単純に3次元表示するだけでなく、仮想展開像によって観察が容易な形で可視化した。仮想展開像は腸壁を平面状に表示するものであり、腸壁の広範囲を一度に観察可能となる。本システムではこれらの表示法の表示範囲を自動的に同期させ、腸管を様々な可視化法で観察可能とした。病変検出手法により検出された領域は、これらの可視化法により得られる画像上で色付けして表示する。複雑な形状の腸管内での病変位置を直観的に分かりやすい形で医師に提示することが可能である。腸管認識、可視化、病変検出はシステム上で容易に実行可能とした。開発したシステムの画面を図2に示す。

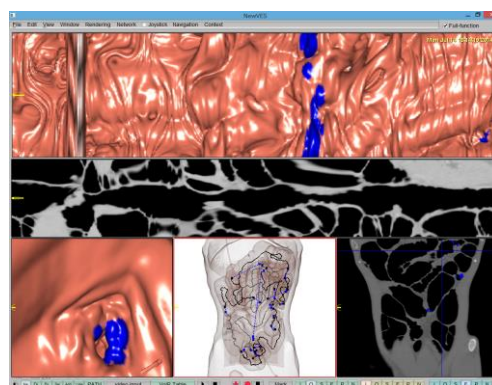


図2 クローン病CADシステムの画面。

(5) 診断結果情報出力機能の開発

クローン病CADシステムで得られる腸管や病変の形状・位置をコンピュータ上、タブレット端末上、紙面上で提示可能とした。サーバ上でクローン病CADシステムを動作させ、ネットワーク経由でクライアント端末上にシステムの情報を表示し、遠隔地からでも診断情報を参照可能とした。タブレット端末からもシステムの3次元画像の視点位置・視線方向を変更可能とした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

[1] Masahiro Oda, Takayuki Kitasaka, Kazuhiro

Furukawa, Osamu Watanabe, Takafumi Ando, Hidemi Goto, and Kensaku Mori, "Automated Ulcer Detection Method From CT Images for Computer Aided Diagnosis of Crohn's Disease," IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有, Vol.E96-D, No.4, pp.808-818, 2013.

〔学会発表〕(計13件)

[1] 小田 昌宏, 朝倉 詩穂, 古川 和宏, 北坂 孝幸, 渡辺 修, 安藤 貴文, 後藤 秀実, 森 健策, "3次元腹部CT像からの腸管潰瘍検出における過検出削減処理の検討," 第31回日本医用画像工学会大会予稿集, 査読無, OP2-1, 2012.

[2] Masahiro Oda, "Diagnosis and Surgical Assistance by Medical Image Processing," ACPR 2013 Tutorial on Pattern Recognition for Medical Augmented Reality Systems, 査読無, 2013.

[3] Masahiro Oda, Takayuki Kitasaka, Kazuhiro Furukawa, Osamu Watanabe, Takafumi Ando, Yoshiki Hirooka, Hidemi Goto, and Kensaku Mori, "An automated method for connecting separated luminal regions of intestine segmented from CT volumes," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 査読有, Vol.9, Sup.1, pp.S223-S224, 2014.

[4] Masahiro Oda, Takayuki Kitasaka, Kazuhiro Furukawa, Osamu Watanabe, Takafumi Ando, Yoshiki Hirooka, Hidemi Goto, and Kensaku Mori, "Automated method for reconstructing fragmented luminal regions of intestine," Proceedings of MICCAI 2014 Workshop on Abdominal Imaging: Computational and Clinical Applications, 査読有, LNCS 8676, 2014.

[5] Masahiro Oda, Takayuki Kitasaka, Kazuhiro Furukawa, Osamu Watanabe, Takafumi Ando, Yoshiki Hirooka, Hidemi Goto, and Kensaku Mori, "Connection method of separated luminal regions of intestine from CT volumes," Proceedings of SPIE, 査読有, Vol.9414, pp.94140P-1-7, 2015.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

小田 昌宏 (ODA, Masahiro)

名古屋大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：30554810

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし